

# **EL PERÍODO DE RETORNO Y LAS PROBABILIDADES**

**AMENAZAS, VULNERABILIDADES Y RIESGOS**

**Ing. Carlos Corzo Bacallao<sup>1</sup>**

*1. Universidad de Matanzas, Vía Blanca km.3, Matanzas,  
Cuba.*

## **Resumen.**

Durante la asesoría brindada por el autor en los temas de Hidrología e Hidráulica en el Instituto de Ferrocarriles del Estado en la República Bolivariana de Venezuela (2007 – 1012), los Períodos de Retorno estaban normalizados para las diferentes tipos de obra.

Alrededor de este tema se manejaban diferentes criterios con mayor o menor sustentabilidad técnico – científica, como el “cambio climático”, etc., siempre tratando de cubrir las innegables incertidumbres en la captación y tratamiento de los datos de base, que a pesar de que en Venezuela existe una red de estaciones meteorológicas relativamente densa, en ocasiones era necesario acudir a modelaciones matemáticas no siempre con probados resultados.

A pesar que la adopción de los datos existentes sobre el período de retorno en las tablas existentes resolvían “por decreto” las discrepancias, resultaba evidente que existían contradicciones en el tratamiento de los posibles riesgos al asignarle por ejemplo a un puente un período de retorno de 100 años y a una alcantarilla a pocos Kms en la propia vía, un período de retorno de 25, cuando el colapso de cualquiera de estas dos obras, con independencia de su magnitud o costo, podían provocar accidentes catastróficos y generar cuantiosas pérdidas sociales y económicas.

***Palabras claves:** Riesgos, vulnerabilidades, amenazas, drenaje de vías.*

---

## **Introducción.**

El presente trabajo pretende darle seguimiento al problema de la selección de los períodos de retorno para las distintas obras.

A partir de los huracanes “Andrew” y “Katrina” en los Estados Unidos se ha venido profundizando en este tema, presumiblemente a partir de exigencias de las compañías de seguro que requieren de evaluaciones de riesgos mucho más certeras desde el punto de vista comercial, lo que ha coadyuvado al desarrollo teórico de esta disciplina.

## **Características de las vías.**

Las vías férreas y las vías automotores en general, aunque muy similares en los procedimientos de diseño y de construcción de su infraestructura, plantean una importante diferencia en lo que respecta a la mecánica de los “fallos”.

Ambos tipos de vías pueden ser considerados como sistemas, compuestos o conformados por una serie de subsistemas, que cada uno de ellos dependen al menos de otro y que en su interacción conforman el sistema propiamente dicho con características diferentes a cada uno de los subsistemas componentes. Esta característica se denomina comúnmente “sinergia”.

Desde el punto de vista de los “fallos” (entendiéndose como “fallo” a que el sistema deje de cumplir con el objetivo planeado y para lo cual fue construido), la principal diferencia entre las vías automotoras y férreas es la siguiente:

***Vías automotoras:***

1. En este tipo de vía cualquier fallo en alguno de los subsistemas componentes puede ser solventado con medidas de relativa fácil implementación:
2. En el caso de fallos parciales e incluso totales de la pavimentación, por ejemplo, en la generalidad de los casos los vehículos pueden sortear roturas e imperfecciones y a lo sumo utilizar desvíos provisionales.
3. En el caso de fallos en los subsistemas de drenaje, en el caso de alcantarillas e incluso de puentes, es común la implementación de desvíos y vados.
4. El restablecimiento de las características originales parcial o permanentemente por lo general resulta expedita.

***Vías férreas:***

1. Los fallos de alguno de sus subsistemas resultan comparativamente más complicados, ya que por lo general es impracticable la utilización de desvíos provisionales.
2. Es usual que se desvíe el flujo de la transportación por otras vías alternativas existentes y en explotación de antemano.
3. Un aspecto importante que caracteriza a las vías férreas como sistema es que por lo general cualquier fallo de alguno de sus subsistemas incapacita al sistema como tal.

***El período de retorno o intervalo de recurrencia***

**Se define como período de retorno T de eventos hidrológicos máximos en obras de drenaje vial, el tiempo promedio, expresado en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez.**

El período de retorno T está ligado a la probabilidad de una distribución probabilística mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{P(x \geq x_i)} \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{1 - P(x \leq x_i)} \quad (2)$$

La expresión (1) se interpreta como que el período de retorno T (expresado en años) es el inverso a la probabilidad que un determinado evento iguale o supere determinada magnitud máxima en ese mismo período. La expresión (2) expresa que el período de retorno T (expresado en años) será el inverso de la probabilidad de ocurrencia de que un determinado evento iguale o sea inferior a una determinada magnitud máxima en ese mismo período.

Como se aprecia, el período de retorno está relacionado al evento meteorológico.

En el caso de la hidrología fundamentalmente al escurrimiento. Está relacionado a una amenaza.

### ***Amenaza, vulnerabilidad y riesgo.***

#### ***Amenaza***

La “amenaza”, como se expresaba anteriormente está relacionada a la posible ocurrencia de un determinado evento físico, que puede ser más o menos probable.

La amenaza puede ser mayor o menor. Así tenemos que la amenaza de que ocurra un huracán en el área del Caribe es mayor en el mes de octubre que en el mes de enero y es posible evaluar ésta en función de la probabilidad de ocurrencia.

#### ***Vulnerabilidad***

La vulnerabilidad está relacionada al objeto sobre el cual ejerce acción la amenaza y éste puede ser más o menos vulnerable a la misma. Un puente, por ejemplo, puede ser más o menos vulnerable a una creciente máxima en dependencia de las características de su diseño y construcción.

La amenaza y la vulnerabilidad están interrelacionadas. La vulnerabilidad no tiene sentido si no existe la amenaza. En Luanda, Angola, por ejemplo, no se conocen los ciclones o huracanes, por lo tanto no tiene sentido decir que un determinada obra de construcción sea o no vulnerable a este tipo de evento meteorológico.

#### ***Riesgo***

El resultado de la interacción de la amenaza y la vulnerabilidad determina una percepción de riesgo. La percepción del riesgo por tanto pasa por la apreciación de la amenaza y de la vulnerabilidad.

La vulnerabilidad se predetermina en el caso de una obra nueva en el diseño, partiendo de la apreciación de la amenaza. Para el diseño de una alcantarilla de cajones en una vía férrea, por ejemplo, se debe partir de la determinación de la posible amenaza, que se caracteriza por el gasto calculado para una determinada probabilidad que se fija teniendo en cuenta las características de la obra. En dependencia de este gasto (amenaza) se determinan la cantidad y tipos de conductos a

colocar de modo que este gasto sea transferido a través de la infraestructura de la vía sin ocasionar daños de ningún tipo. Es decir, de acuerdo con el nivel de riesgo, se trabaja en la vulnerabilidad (diseño) de forma tal que el nivel de riesgo no supere los límites que nos proponemos como confiables y económicos.

En el caso de una revisión, el procedimiento es diferente porque la vulnerabilidad de la obra por lo general está determinada de antemano, ya que la misma se encuentra construida correcta o incorrectamente. Es decir, una vez caracterizada la amenaza, se determina el nivel de vulnerabilidad, en este caso de la alcantarilla, lo cual nos arroja un determinado riesgo el cual puede o no ajustarse a nuestros deseos o requerimientos.

### ***Interrelación amenaza – vulnerabilidad***

Anteriormente observábamos como en las expresiones (1) y (2) el período de retorno T, se relacionaba con la probabilidad de ocurrencia, ya sea  $P(x \geq x_i)$  o  $P(x \leq x_i)$ .

Esta probabilidad de ocurrencia no caracteriza al objeto, sino al evento o a lo sumo supone que el objeto tenga una duración de 1 año, para que puedan cumplirse las expresiones (1) y (2).

En la realidad, los objetos construidos tiene una duración variable, no necesariamente de 1 año, por lo que la probabilidad de que este objeto sea afectado por el evento en cuestión no necesariamente tiene que ser  $T = \frac{1}{P(x \geq x_i)}$  ó  $T = 1 - \frac{1}{P(x \leq x_i)}$

La expresión que relaciona el período de retorno (T) con la probabilidad (P) y el tiempo de duración de la obra es:

$$P_{T,n} = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (3) \quad \text{ó}$$

$$P_{T,n} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (4)$$

Donde:

***P<sub>T,n</sub>***: Probabilidad de que el evento ocurra en un período de n años con un determinado período de retorno T.

***n***: Período de n años

Si prescindimos de la duración de la obra, estamos asumiendo que la misma tiene una duración de 1 año, o sea, cuando  $n=1 \rightarrow P = \frac{1}{T}$

Si  $n \neq 1$ , es fácil demostrar que  $P_{T,n} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$

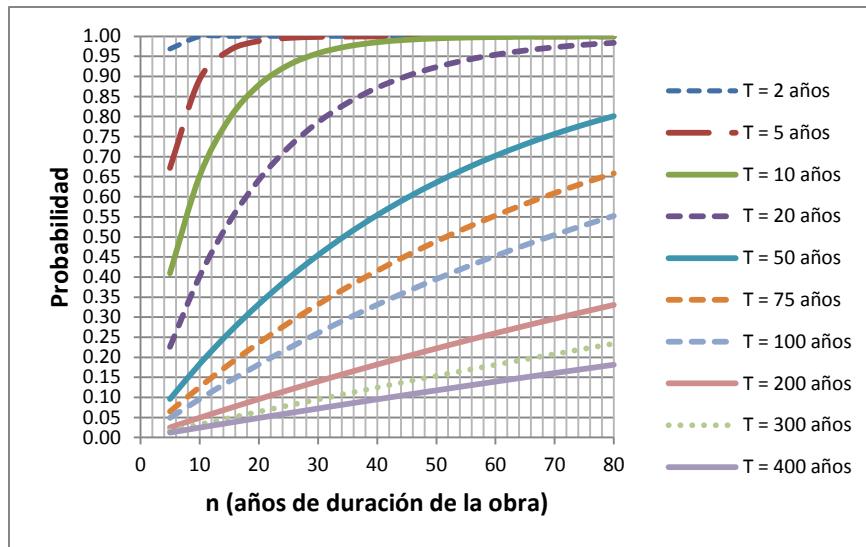


Gráfico 1

Gráfico1

(Representa la probabilidad que el evento ocurra durante el período de duración de la obra)

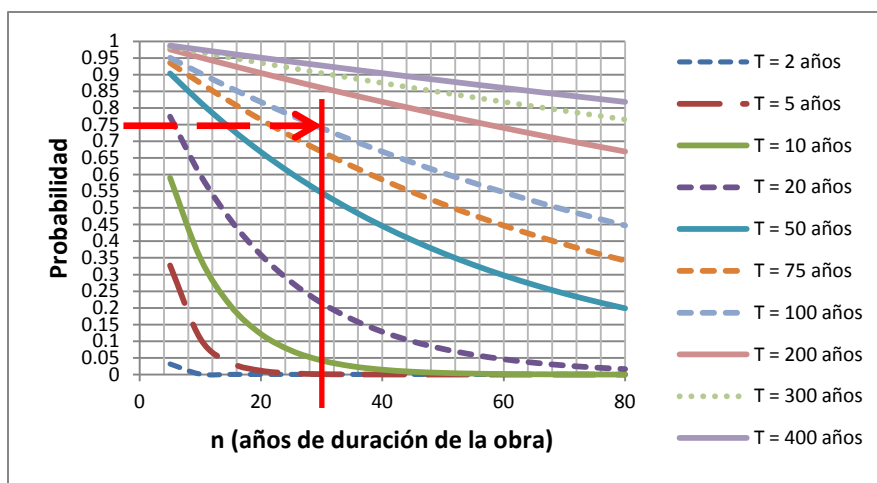


Gráfico 2

Gráfico 2 (Representa la probabilidad que el evento **NO** ocurra durante el período de duración de la obra)

**La selección del PERÍODO DE RETORNO (T) para los drenajes en las vías automotoras y en las vías férreas.**

**Vías automotoras**

Por lo menos en Venezuela y Colombia se utiliza una Tabla indicativa con independencia que el proyectista decida según su criterio.

Por ejemplo:

TIPO DE OBRA	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0,90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0,90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 20 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor de 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Tabla 1

Teniendo en cuenta las características de las vías automotoras consideramos lógica la proposición, ya que como nos referíamos anteriormente, el sistema puede ser restituido relativamente fácil y las consideraciones de selección pudieran estar en dependencia de la importancia de cada uno de los tipos de obras.

**Vías férreas**

Normalmente ha existido una especie de extrapolación de las “tablas” o indicaciones utilizadas para las vías automotoras hacia las vías férreas.

Consideramos que el tratamiento de las vías férreas debe ser diferente al tratamiento en este sentido que se le da a las vías automotoras ya que las segundas funcionan en la práctica como un

sistema mucho más “cerrado” y donde muchas de las obras impiden, de ocurrir un fallo en algunas de ellas, el uso del sistema (vía) de forma integral.

Por otra parte, por las propias características de las vías férreas, el costo de la interrupción del servicio en este caso es más caro que en el caso de las vías automotoras e incluso comparable a las reparaciones de los posibles daños.

**Por esta razón consideramos lo siguiente:**

1. Para la vía o tramo (como sistema) se debe asumir de forma integral una probabilidad de fallo que debe determinarse en dependencia de la importancia del mismo con relación al servicio socio económico para el cual fue concebido y diseñado.
2. A partir de esta probabilidad de fallo y considerando los años que se estima debe estar en operación la vía, determinar el Período de Retorno, el cual finalmente se utilizaría para la determinación de los gastos y otros parámetros necesarios.
3. Consideramos que la anterior proposición debe adoptarse para todo los tipos de puentes y alcantarillas y para aquellas obras que de “fallar” puedan comprometer seriamente el funcionamiento del tramo como sistema.

Por ejemplo, tenemos un tramo de vía férrea de 42 Km con tres puentes y 12 alcantarillas.

Estimamos que n=30 años para el sistema, ya que se considera que al cabo de este tiempo la vía puede ser remodelada.

Asumimos que la Probabilidad de fallo no debe superar el 75%

Utilizando el Gráfico 2 se obtiene que  $T \sim 100$  años, por lo que la determinación de los gastos de cálculo hidráulico para la totalidad de los puentes y alcantarillas deben ser obtenidos a partir del mismo.

Se confeccionó un programa (Excel) que automáticamente realiza analíticamente los cálculos necesarios.

<b>DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO</b>		
Para una vida útil de la obra de	<i>Datos</i>	
	<b>30</b>	años
con una probabilidad del	<b>75</b>	%
Para que no se produzca el evento en el período de vida útil, el Período de Retorno que se debe seleccionar es de:		
<b>105</b>		años

Tabla 2





Determinación  
Período Retorno.xlsx

Interpretación de los resultados:

$T_{\text{Gráficamente}} = 100$  años

$T_{\text{Analíticamente}} = 105$  años

Para garantizar que las obras seleccionadas (puentes y alcantarillas) funcionen con un 75% de seguridad se debe seleccionar un período de retorno de 105 años. Para el caso de los puentes de luces iguales o mayores que 50 m el período de retorno resultaría similar al aconsejado en la mayoría de las tablas indicativas (100 años), no así en el caso de las alcantarillas y puentes menores, que en el ejemplo se recomienda para el caso en cuestión de igual forma  $T = 105$  años, pudiéndose aceptar a criterio  $T = 100$  años.

#### ***Amenazas desconocidas o no consideradas***

Las amenazas, conocidas o no interactuarán con la vulnerabilidad de la obra, con la diferencia de que si son desconocidas (o no se consideran) no podremos evaluar esta última y por tanto no podremos tomar las medidas necesarias para eliminar o reducir los riesgos.

a) Un ejemplo de amenazas desconocidas o no consideradas lo tenemos en la estabilidad de los taludes de la vía en las zonas próximas a los estribos de puentes y alcantarillas.

Frecuentemente los taludes no protegidos que vierten el agua a los drenajes longitudinales (cunetas) se destruyen por esta acción, constituyendo una especie de “detonante” al avanzar rápidamente la erosión hacia los estribos de los puentes y alcantarillas. Es decir, aun existiendo un diseño apropiado en lo que respecta a las capacidades de evacuación, la erosión que se inicia en los taludes laterales de los terraplenes en las proximidades de estas obras puede llegar a colapsar alcantarillas e incluso puentes.

La adopción de medidas técnico – constructivas para disminuir vulnerabilidades de este tipo coadyuva a la disminución de los riesgos.

Estas medidas pueden ser:

1. Revestimientos de las cunetas próximas a los puentes y alcantarillas (donde por lo general evacuan estas aguas de drenaje)
2. Revestimiento de los taludes utilizando diversos métodos.
3. Otros.

Se pueden mencionar los siguientes métodos de protección de taludes:

- a) Hormigón proyectado
- b) Geotextiles
- c) Gaviones
- d) Tierra armada
- e) Muros cribas
- f) Geoceldas
- g) **USO DE VEGETACIÓN**

***b) Imprecisiones en la determinación de los gastos de cálculo.***

Una de las amenazas incontroladas resulta la determinación de los gastos de cálculo.

- a) El método más preciso resulta ser la determinación directa a partir de la recopilación de los gastos en las estaciones construidas al efecto en las corrientes principales. Normalmente, no se puede esperar que este método sea aplicable en todos los casos ya que dichas estaciones son realmente en todos los casos limitadas.
- b) Seguidamente, existen correlaciones entre las intensidades de lluvia y las escorrentías. Estas intensidades de lluvia deben ser determinadas a partir de los pluviógrafos (que miden fundamentalmente la intensidad de la lluvia). El déficit de estos equipos hace impracticable este método a pesar de que no deja ser un método indirecto.
- c) Finalmente existen modelaciones matemáticas tomando como base datos pluviométricos (lluvias acumuladas máximas en 24 horas, etc.) que mediante determinados “artificios” se determinan las intensidades (mm/min). Los resultados obtenidos por esta vía, que son los que de forma general se tiene acceso, pueden ser notablemente imprecisos. En esencia resulta un método indirecto para la obtención de otro valor también obtenido de forma indirecta.

Teniendo en cuenta estas imprecisiones, es de esperar que estos métodos arrojen resultados sobrevalorados en el mejor de los casos.

**Las Normas cubana.**

NC 53 – 125 de 1984 (**Vigente**)

## Puentes y Alcantarillas. Especificaciones de proyecto y métodos de cálculo.

En esta norma, según 10.1, Tabla 4 Probabilidades de diseño:

Vías Férreas		
Tipo de estructura	Categoría de la vía	Probabilidad del gasto de diseño (%)
Puentes y alcantarillas	I	1
	II	2
	III	5

Tabla 3

La probabilidad de diseño se relaciona a la categoría de la vía, **lo cual es correcto** ya que para una misma categoría establece probabilidades de gasto iguales con independencia del tipo de estructura, es decir, considera a la vía (tramo) como un sistema compuesto por diferentes subsistemas.

Se entiende que la Probabilidad del gasto de diseño que aparece en la Tabla 4 corresponde al inverso del período de retorno ( $P = \frac{1}{T}$ ), de donde:

T: Período de retorno.

P = 1 %; T = 100 años

P = 2 %; T = 50 años

P = 5%; T = 20 años

Para el caso de la **NC VÍAS FÉRREAS — ALCANTARILLAS Y PUENTES — ESPECIFICACIONES DE PROYECTO Y MÉTODOS DE CÁLCULO** (No aprobada), establece cuatro categorías de vías y limita la probabilidad de diseño hasta el 2 % (hasta T = 50 años).

Ambas normas cubanas (la vigente de 1984 y la que se encuentra en proceso de aprobación, para el caso de alcantarillas y puentes) consideran a la vía férrea como un sistema, recomendando la adopción de probabilidades de diseño ( $P \text{ ó } T = 1/P$ ) teniendo en cuenta la categoría de la vía y no el tipo de obra.

En ambos casos no se considera la duración estimada de la obra, lo que resulta importante para poder definir la probabilidad del posible fallo lo que permitiría apreciar el verdadero significado del riesgo.

### Otras normas:

Tanto las normas venezolanas: **ANEXO 5 HIDROLOGÍA Y DRENAJE, 1era Revisión de 2005**, como las colombianas: **“Manual de Drenaje para Carreteras” INVIAS (Diciembre de 2009)**, establecen

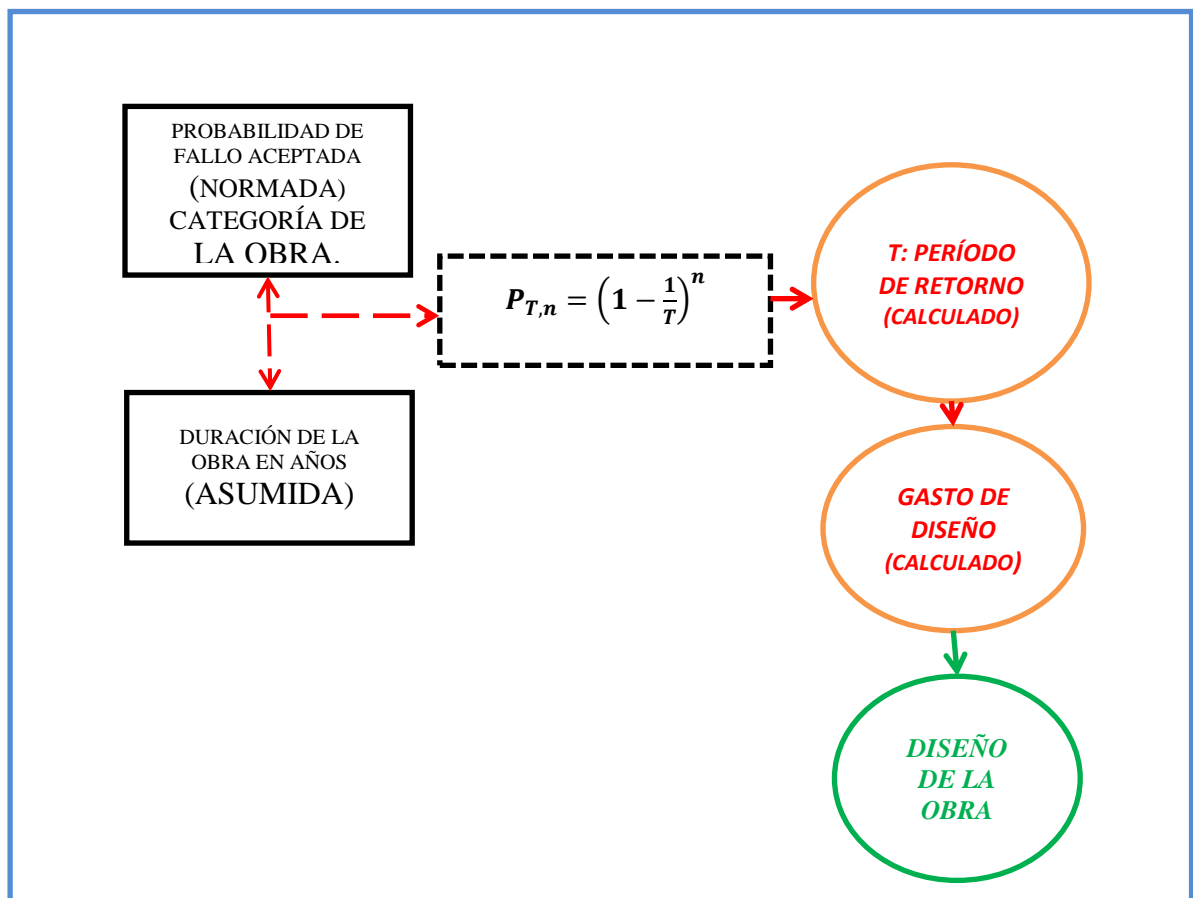
diferentes períodos de retorno para distintos tipos de obra. Concepto con el cual no concordamos ya que no considera a la vía férrea como un sistema.

#### Resumiendo:

La norma cubana, a nuestro juicio, supera a la venezolana y colombiana ya que considera a la vía férrea como un sistema, adjudicando al menos a los puentes y alcantarillas la misma probabilidad (o período de retorno) del gasto de diseño o cálculo, aunque al igual que las precedentes no relaciona la verdadera probabilidad de los posibles fallos (que debe interactuar con el tiempo de vida útil de las obras en cuestión).

**Lo que debería estar normado en dependencia de las categorías de las vías no es la Probabilidad del gasto (o período de retorno), sino la probabilidad de que el gasto real no iguale o supere el gasto de diseño en el tiempo de vida útil de la obra, convirtiendo de esta forma al período de retorno en un dato a determinar según el caso y no en una norma como está planteado.**

### Conclusiones y recomendaciones



Esquema 1

1. La selección de los períodos de retorno en el caso de las vías férreas deben, a nuestro juicio, estar supeditadas a la probabilidad de ocurrencia de los gastos máximos.
2. La probabilidad de ocurrencia debe seleccionarse teniendo en cuenta la fiabilidad del sistema ferroviario como tal y no, como en el caso de las autovías, estar únicamente supeditadas al costo e importancia de las obras componentes del sistema ferroviario a partir únicamente de tablas y recomendaciones.
3. Se insiste en la necesidad de la actualización de los datos de intensidades de lluvia y la incorporación de nuevos pluviógrafos, rediseñando y actualizando la red de pluviómetros y pluviógrafos. Se debe insistir en que en Cuba se dispone de prototipos de pluviógrafos a la altura de la media internacional y que perfectamente pueden ser construidos e incluso comercializados internacionalmente.
4. Se propone la introducción de la protección vegetal de taludes, sobre todo en las zonas próximas a puentes y alcantarillas, por ser un método utilizado internacionalmente con probada eficiencia y eficacia.
5. Se propone por tanto la revisión integral de las normas cubanas relacionadas con el drenaje de los sistemas ferroviarios.

## Bibliografía

- (1984). *NC 53-125:84 Elaboración de Proyecto de Construcción. Puentes y alcantarillas. Especificaciones de proyecto y métodos de cálculo.* Cuba: Normas Cubanas.
- (1986). *NC 53-02:86 Elaboración de Proyectos de Construcción. Carreteras rurales. Categorización Técnica y características geométricas del trazado directo.* Cuba: Normas Cubanas.
- (2008). *NC: 600 - 2008.* La Habana.
- Chardy, A. -C. (2002). *Amenazas y vulnerabilidades. Riesgo, Desastres y Mitigación.* Manizales. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. Instituto de Estudios Ambientales.
- Corzo Bacallao, C. (2012). *Algunas Consideraciones sobre el Mantenimiento de los Sub Sistemas de Drenaje en las Obras Viales. Caso Alcantarillas.* Matanzas.
- Corzo Bacallao, C. (2012). *Probabilidad. Programa de Cálculo.* Matanzas, Cuba.
- Corzo Bacallao, C. (2014). *El Diseño y Revisión de Alcantarillas.* Matanzas, Cuba.
- Corzo Bacallao, C. (2014). *Programa de cálculo del Período de Retorno TR y P% de ocurrencia.* Matanzas: Inédito.
- González Arestuche, L. R. (2011). *Aspectos Teóricos de la Hidrología - Hidráulica en Puentes.* Matanzas: UMCC.
- González Toro, C. (2006). *Pacholí.* Mayagüez. Puerto Rico.
- Hengchaovanich, D. (2008). *Vetiver System for Slope Stabilization Reviewer.* Bangkok, Thailand.
- Hernández, P. A. (2013). *Tabla de Cálculo para Riesgo Sísmico.* Matanzas: Forum Empresarial. GEDIC, 2013.
- (s.f.). *Hidraulics Design Data for Culverts. Army Drainage manual Culvert Design.* USA: Internet.
- Iowa Stormwater Management Manual. 2N - 2 Culvert Hydraulics. (1985). *Hydraulics Design of Highway Culvert, Hydraulics Design Series N° 6.* USA.
- José Aldemar, e. a. (s.f.). *Protección de Taludes con Vegetación.* Tolima, Colombia: BIOMACOL & CONSULTORES S.A.S.
- Lam, N. E. (2011). *Soil Moisture Conditions in Vegetated Cut Slopes and Possible Implications for Stability.* EU: Geo Report No. 140.
- N/A. (s.f.). *Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño (Capítulo IV).* Bajado Internet.
- N/A. (s.f.). *Fragilidad, desempeño y daño (Capítulo 9).* En N/A. Bajado Internet.
- Pérez Franco, D. (s.f.). *Conferencia sobre Drenaje en carreteras.* Habana.
- Risk Management Solutions. Inc. (s.f.). *Builders Risk.* Bajado Internet (<http://www.rms.com>).
- S/N. (s.f.). *Curvas de Fragilidad y Matrices de Probabilidad de Daño. Capítulo 4.* En S/N. Bogotá, Colombia.